室内条件下莱氏猛叩甲对松墨天牛和黄粉虫的捕食能力

辛玉翠[1,2], 张龙娃[3], 方 竹[3], 刘柱东[2,*]

(1. 安徽大学健康科学研究院, 合肥 230039; 2. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; 3. 安徽农业大学林学院, 合肥 230036)

摘要:【目的】本研究旨在明确莱氏猛叩甲 *Tetrigus lewisi* 老熟幼虫分别对黄粉虫 *Tenebrio molitor* 和松墨天牛 *Monochamus alternatus* 末龄幼虫和蛹的捕食量的差异,评估莱氏猛叩甲的捕食能力,为松墨天牛 *M. alteratus* 的有效治理找到潜在的高效生物防治因子。【方法】于 2014 年 11 月在浙江富阳昌东村马鞍山砍下松墨天牛虫害木,通过林间野外调查,明确松墨天牛和莱氏猛叩甲的发生情况; 将野外采集到的莱氏猛叩甲幼虫带回室内,分别饲喂黄粉虫和松墨天牛的末龄幼虫和蛹,每天记录捕食量,确定莱氏猛叩甲的捕食能力。【结果】野外调查中,我们在松墨天牛幼虫蛀食的坑道中发现了莱氏猛叩甲幼虫和松墨天牛幼虫被取食后的残体;在采集到 1 094 头松墨天牛幼虫的危害木内,共采得莱氏猛叩甲末龄幼虫 36 头,约为松墨天牛幼虫数量的 3%。室内捕食实验表明,5 d 内莱氏猛叩甲捕食黄粉虫幼虫总量为 3.2 头,平均每天捕食约 0.6 头,而捕食松墨天牛幼虫总量为 8.0 头,平均每天捕食约 1.6 头,莱氏猛叩甲对松墨天牛的总捕食量显著高于对黄粉虫幼虫的总捕食量($P<0.0001$);4 d 内莱氏猛叩甲捕食黄粉虫蛹总量为 5.6 头,平均每天捕食约 1.4 头,而捕食松墨天牛蛹总量为 7.8 头,平均每天捕食约 2.0 头,莱氏猛叩甲对松墨天牛蛹的捕食量显著高于黄粉虫蛹($P=0.028$)。回归分析还表明,莱氏猛叩甲幼虫的捕食量不受叩甲个体大小的影响。【结论】莱氏猛叩甲普遍分布在松墨天牛发生区,同时发现松墨天牛被取食后的残体,表明莱氏猛叩甲是松墨天牛的捕食性天敌。莱氏猛叩甲均能捕食黄粉虫和松墨天牛的幼虫和蛹;相比于捕食黄粉虫,莱氏猛叩甲对松墨天牛的幼虫和蛹具有更好的捕食效率,具有很好的生物防治前景,是未来松墨天牛治理潜在高效生物防治因子。

关键词: 莱氏猛叩甲; 松墨天牛; 黄粉虫; 捕食; 生物防治因子

中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2016)05-552-08

Predatory capability of *Tetrigus lewisi* (Coleoptera: Elateridae) to the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) and the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) under laboratory conditions

XIN Yu-Cui[1,2], ZHANG Long-Wa[3], FANG Zhu[3], LIU Zhu-Dong[2,*] (1. School of Health Sciences, Anhui University, Hefei 230039, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. School of Forest, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract:【Aim】This study aims to evaluate the predatory capability of *Tetrigus lewisi* larvae to final instar larvae and pupae of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* and the Japanese pine sawyer, *Monochamus*

基金项目: 国家重点基础研究发展计划("973"计划)项目(2013CB127600)

作者简介: 辛玉翠, 女, 1991 年 1 月生, 黑龙江省绥化人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: xinyucui1@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuzd@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2016-01-19; 接受日期 Accepted: 2016-04-12

alternatus by feeding experiment in the laboratory, so to find an effective bio-control agent for the management of the pine sawyer.【Methods】To confirm the occurrence of *M. alternatus* and *T. lewisi*, field survey was carried out in November 2014 at a forest of Mt. Maanshan, Changdong, Fuyang County of Zhejiang Province by cutting down the infested trees by *M. alternatus* larvae and counting the number of each species by dissecting galleries made by beetle larvae. *T. lewisi* larvae were brought back indoor, and fed with final instar larvae and pupae of *T. molitor* and *M. alternatus*, respectively, to estimate the predatory capability of *T. lewisi* larvae.【Results】In the field survey, we found both *T. lewisi* larvae and residual body of the Japanese pine sawyer in the galleries made by *M. alternatus* larvae. Totally, 36 *T. lewisi* final instar larvae and 1 096 *M. alternatus* larvae were collected in the infested dead pine trees, with the population density of the former being about 3% of the latter. Indoor predatory experiment showed that one *T. lewisi* larva preyed on 0.6 and 1.6 larvae of *T. molitor* and *M. alternatus* per day, respectively. The total average number of *T. molitor* larvae preyed in five consecutive days was 3.2 individuals, which was significantly lower than that of *M. alternatus* larvae preyed (8.0 individuals) ($P<0.0001$). Moreover, *T. lewisi* larva could prey on both pupa of *T. molitor* and *M. alternatus*. The average preyed number of *T. molitor* and *M. alternatus* pupae was 1.4 and 2.0 individuals per day, respectively. The total average number of *T. molitor* pupae preyed in four consecutive days was 5.6 individuals, which was significantly lower than that of *M. alternatus* pupae preyed (7.8 individuals) ($P=0.028$). Furthermore, regression analysis showed that the predation amount of *T. lewisi* was not correlated with its body size.【Conclusions】Field survey confirmed that *T. lewisi* is widely distributed in the galleries of *M. alternatus* larvae, showing that *T. lewisi* is a natural enemy of the *Monochamus* beetle. *T. lewisi* larvae prefer to prey on larvae and pupae of *M. alternatus* rather than on those of *T. molitor*, showing promising prospect of using the natural enemy *T. lewisi* for management of *Monochamus* beetles.

Key words: *Tetrigus lewisi*; *Monochamus alternatus*; *Tenebrio molitor*; predation; bio-control agent

松墨天牛 *Monochamus alternatus* 是松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 在中国和日本地区最重要的传播媒介昆虫（Mamiya and Enda, 1972; Linit *et al.*, 1983; Togashi, 1989），别称松褐天牛，属鞘翅目天牛科（Cerambycidae）沟胫天牛亚科（Laminae）墨天牛属。其寄主有马尾松 *Pinus massoniana*、湿地松 *Pinus elliottii*、卡锡松 *Pinus kesiya* 、黑松 *Pinus thunbergii*、云南松 *Larix gmelinii* 等，也可为害雪松、冷杉、云杉 *Picea asperata* 和落叶松 *Larix gmelinii*（赵锦年和应杰，1989）。在松材线虫病的侵染循环中，松墨天牛占有很重要的地位，两者相互依存，密不可分。许多研究显示，控制松材线虫病的有效方法就是减少携带松材线虫的媒介昆虫，以此控制松材线虫的传播（Yang, 2004; Togashi, 2008）。目前对松墨天牛的防治方法主要有诱木防治、诱捕器诱杀以及药物防治等（邓国松，2015）。

鉴于松墨天牛为害的隐蔽性和成熟期较长的特点，化学农药等防治难以有效控制害虫口密度，利用生物防治方法防治松墨天牛将成为关键措施（张翌楠和杨忠岐，2006；张贻平，2006；胡霞和蒋学建，2007；陈元生和周满生，2012；）。防治松墨天牛的天敌昆虫主要是寄生性和捕食性天敌，据统计约有49 种天敌昆虫可以捕食或寄生松墨天牛（陈元生和周满生，2012）。目前，我国研究和利用较多的天敌昆虫是管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani*、川硬皮肿腿蜂 *Scleroderma sichuanensis* 和花绒寄甲 *Dastarcus helophoroides*（皮忠庆等，2001；罗琳琳等，2015）。对于捕食性天敌，我国学者的调查研究中发现朽木坚甲 *Allecula fuliginosa*、赤背齿爪步甲 *Dolichus hallousis*、小步甲 *Carabidae* sp.、长阎魔虫 *Cylister lineicole*、叩头虫 *Elateroidae* sp. 等在病死木树皮下捕食松墨天牛幼虫，其中，天牛霉纹斑叩甲 *Cryptalaus berus*、莱氏猛叩甲 *Tetrigus lewisi* 等具有推广应用潜力（罗琳琳等，2015）。

本文作者对松墨天牛的其中一种捕食性天敌莱氏猛叩甲进行了林间调查并对其捕食能力进行了评估。莱氏猛叩甲是一种叩头虫，已被鉴定为松墨天牛的一种重要捕食者（Jiang and Wang, 1999），其幼虫主要取食天牛科幼虫，尤其是松墨天牛幼虫。它的捕食能有效地减少松墨天牛的种群数量（宋冀营等，2007）。作者发现该叩甲在林间广泛存在，并发现取食天牛幼虫留下的残体，有可能成为松墨天牛的主要捕食性天敌用于生物防治。作者在实验室进一步观测其对黄粉虫和松墨天牛的幼虫和蛹捕食情

况,测评莱氏叩甲的捕食能力,以期为松墨天牛的生物防治提供新的手段。

1 材料与方法

1.1 实验昆虫的采集和饲养

莱氏猛叩甲:于 2014 年 11 月在浙江省富阳采集到的莱氏猛叩甲幼虫带回室内(莱氏猛叩甲饲养至成虫时经深圳职业技术学院叩甲分类专家江世宏教授鉴定),依次编号并用万分之一精度的电子天平称重(梅特勒-托利多上海有限公司,0.0001 g),然后放在培养皿(直径 100 mm × 高 20 mm)饲养,培养皿里放上适量松墨天牛人工饲料(保湿并模拟坑道环境),然后置于人工气候箱(27℃,光周期 16L∶8D)中,喂食黄粉虫幼虫,记录蜕皮、化蛹和羽化情况。

松墨天牛:于 2014 年 11 月在浙江富阳采集到的松墨天牛的末龄幼虫(头宽 3.0 ~4.5 mm)(郭雅琦等, 2015) 带回室内,置于放有人工饲料的试管内,一部分幼虫放到 4℃冰箱长期保存供莱氏猛叩甲的捕食幼虫实验;另一部分在人工气候箱(27℃,光周期 0L∶24D)里进行饲养,化蛹后收集保存在 4℃冰箱中供莱氏猛叩甲捕食蛹实验。

黄粉虫:于市场购买适量黄粉虫幼虫,喂食麦麸,人工气候箱(27℃,光周期 16L∶8D)进行人工饲养,并每天提供菜叶供其取食,选择新蜕皮的末龄幼虫供莱氏猛叩甲的捕食幼虫实验;黄粉虫幼虫化蛹后收集置于 4℃冰箱中保存供莱氏猛叩甲的捕食蛹实验。

1.2 莱氏猛叩甲和松墨天牛数量比例的野外调查

2014 年 11 月在浙江富阳昌东村马鞍山调查松墨天牛和莱氏猛叩甲共同发生的情况,砍下山上松墨天牛虫害木约 20 棵,将虫害部位用电锯锯成长约 0.3 m 的木段,用斧头剖开每段虫害木,观察并收集松墨天牛幼虫和莱氏猛叩甲数量,统计所采集的松墨天牛幼虫和莱氏猛叩甲的数量。

1.3 莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫幼虫和松墨天牛幼虫的捕食能力比较

1.3.1 莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫末龄幼虫的捕食能力:在实验开始时,第 1 天喂以 2 头黄粉虫末龄幼虫,并每天于固定时间记录黄粉虫的被捕食致死情况,2 头黄粉虫均存活则表示叩甲未取食,若 1 头或 2 头均被捕食致死则分别表示捕食 1 头或 2 头。将黄粉虫残体取出(莱氏猛叩甲幼虫只取食部分猎物,残体通常不被继续取食,且快速腐败),同时添加新的黄粉虫幼虫至 2 头。连续实验 5 日,记录每头莱氏猛叩甲每天的捕食情况,统计莱氏猛叩甲对黄粉虫幼虫的日捕食量和 5 日内总捕食量($n = 36$)。

1.3.2 莱氏猛叩甲老熟幼虫对松墨天牛末龄幼虫的捕食能力:在莱氏猛叩甲捕食黄粉虫幼虫的实验结束后 1 d,每头莱氏猛叩甲幼虫喂食 2 头松墨天牛的末龄幼虫,并于每天固定时间记录幼虫的被捕食致死情况并补充松墨天牛幼虫至 2 头。考虑到天牛幼虫具有自相残杀的习性,前期预实验证实该实验条件下未发现一例致死(20 组)。在连续实验 5 日,记录每头莱氏猛叩甲的捕杀情况,最后统计莱氏猛叩甲对松墨天牛末龄幼虫的日捕食量和 5 日内总捕食量($n = 36$)。

1.4 莱氏叩甲老熟幼虫对黄粉虫蛹和松墨天牛蛹的捕食能力

1.4.1 莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫蛹的捕食能力:实验方法同莱氏猛叩甲对幼虫的捕食实验,在实验开始时,喂食 2 头黄粉虫初期蛹(1 -3 日龄),于每天固定时间记录蛹的被取杀情况并补充黄粉虫至 2 头,连续实验 4 日,记录每头莱氏猛叩甲的捕杀情况,统计莱氏猛叩甲对黄粉虫蛹的日捕食量和 4 日内总捕食量($n = 31$)。

1.4.2 莱氏猛叩甲老熟幼虫对松墨天牛蛹的捕食能力:实验方法同 1.4.1 节,在实验开始时喂食 2 头松墨天牛初期蛹(1 -3 日龄),于每天固定时间记录蛹的被取杀情况,连续取食 4 d,记录每头莱氏猛叩甲的捕杀情况,统计莱氏猛叩甲对松墨天牛蛹日捕食量和 4 日内总捕食量($n = 8$)。

1.5 数据分析

莱氏猛叩甲对黄粉虫和松墨天牛幼虫连续 5 d 的总捕杀量和对黄粉虫和松墨天牛蛹连续 4 d 的总捕食量采用利用 SPSS 软件的单因素方差分析进行分析比较;捕食量和莱氏猛叩甲体重大小的回归分析采用 SPSS 软件的线性回归分析;利用 Microsoft Excel 软件来进行数据记录和作图。

2 结果

2.1 莱氏猛叩甲和松墨天牛发生的野外调查和室内饲养

经野外调查,我们发现了莱氏猛叩甲幼虫和松墨天牛幼虫被取食后的残体。在我们采集到 1 094 头松墨天牛幼虫的木头内,共采得莱氏猛叩甲幼虫

36 头，约为松墨天牛幼虫数量的 3%。此外，我们在室内成功将莱氏猛叩甲幼虫饲养至蛹和成虫，莱氏猛叩甲的幼虫、蛹和成虫外形见图 1。野外采集的莱氏猛叩甲幼虫在室内饲养的过程中未进入下一个幼虫龄期都直接化蛹，证实莱氏猛叩甲以老熟幼虫越冬。

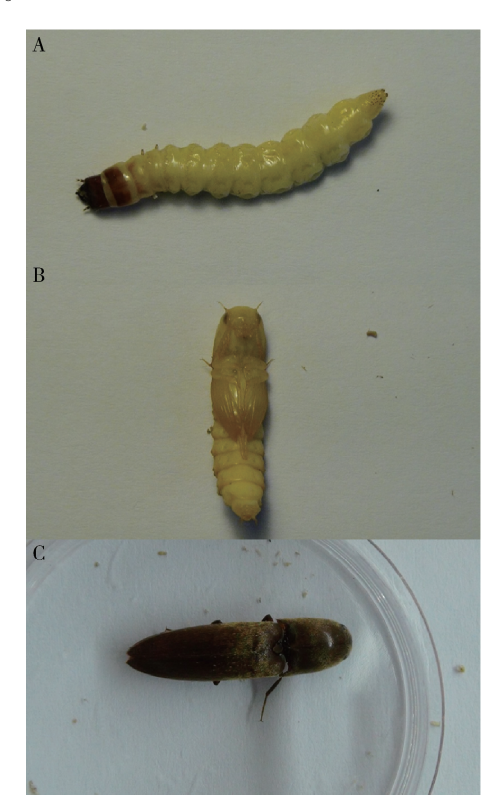


图 1　莱氏猛叩甲幼虫(A)、蛹(B)和成虫(C)

Fig. 1　Larva (A), pupa (B) and adult (C) of *Tetrigus lewisi*

2.2　莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫和松墨天牛幼虫的捕食能力比较

2.2.1　莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫幼虫的捕食能力：莱氏猛叩甲捕食黄粉虫幼虫状见图 2(A)，连续 5 d 的捕食曲线(图 2：B)表明莱氏猛叩甲对黄粉虫幼虫的日捕食量介于 0.4～0.8 头之间，日均约为 0.6 头，平均约每 2 日捕食 1 头黄粉虫幼虫，日与日之间不存在差别；回归分析莱氏猛叩甲的总捕食量与叩甲末龄幼虫个体的大小不存在正相关($y = -0.0038x + 3.8696$，$F = 0.533$，$P = 0.47$)(图 2：C)。

2.2.2　莱氏猛叩甲老熟幼虫对松墨天牛幼虫的捕食能力：莱氏猛叩甲捕食松墨天牛幼虫状见图 3(A)，连续 5 d 的捕杀曲线(图 3：B)表明莱氏猛叩甲对松墨天牛幼虫的日均捕食量约 1.6 头，平均约 2 日捕食 3 头松墨天牛幼虫，日与日之间不存在差别；进一步分析发现莱氏猛叩甲的总捕食量与叩甲



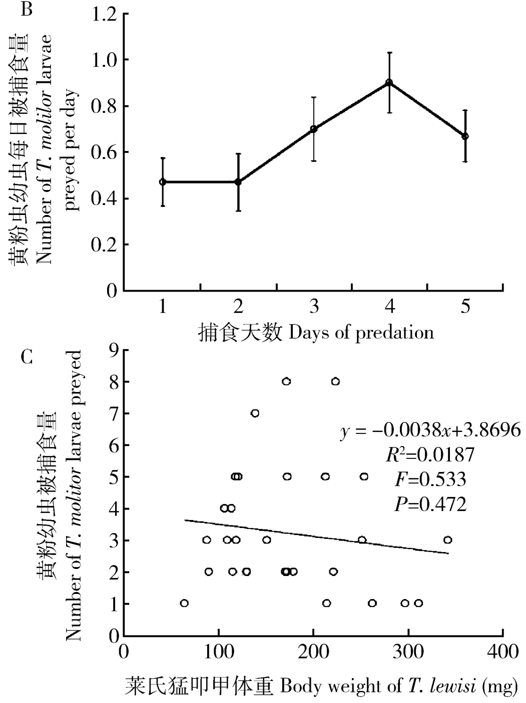


图 2　莱氏猛叩甲对黄粉虫幼虫的捕食状和捕食能力

Fig. 2　Predatory capability of *Tetrigus lewisi* to *Tenebrio molitor* larvae

A：黄粉虫幼虫被捕食后状 Residual body of *T. molitor* larvae after being preyed；B：莱氏猛叩甲对黄粉虫幼虫的捕食动态 Dynamic of predation of *T. lewisi* to *T. molitor* larvae；C：莱氏猛叩甲捕食能力与其个体大小的关系 Relationship between the predatory capability of *T. lewisi* and its body size.

末龄幼虫个体大小也不存在线性相关关系($y = 0.0014x + 7.7144$，$F = 0.084$，$P = 0.774$)(图 3：C)。

2.2.3　莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫和松墨天牛幼虫的捕食能力比较：5 d 内，莱氏猛叩甲捕食黄粉虫和松墨天牛幼虫总捕食量分别为 3.2 和 8.0 头，对松墨天牛幼虫的捕食能力效果显著高于黄粉虫($F_{1,70} = 88.339$，$P < 0.0001$)(图 4)。

2.3　莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫蛹和松墨天牛蛹的捕食能力比较

2.3.1　莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫蛹的捕食能力：莱氏猛叩甲捕食黄粉虫蛹状见图 5(A)，连续 4 d

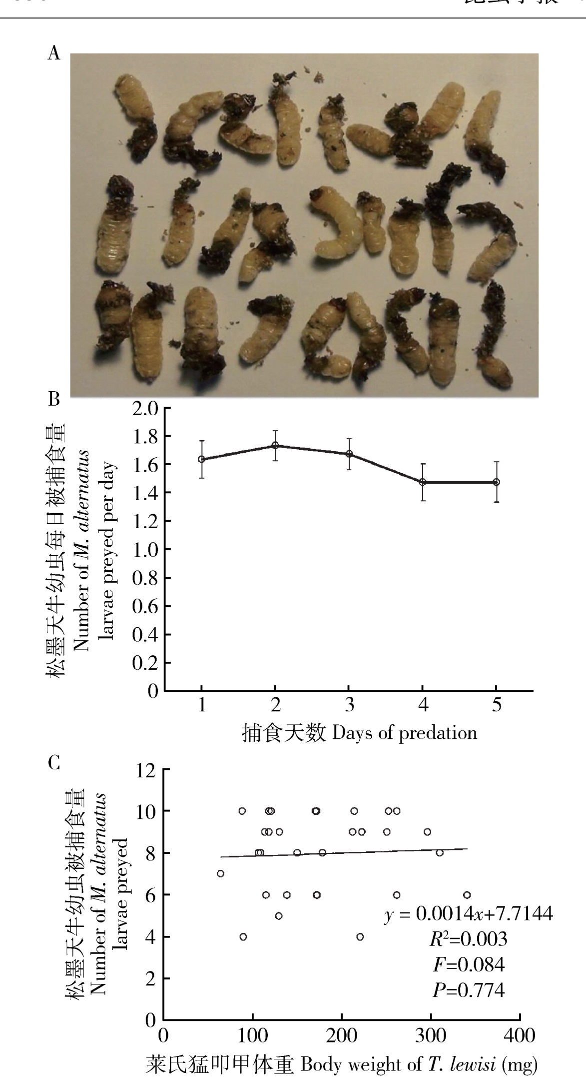


图 3 莱氏猛叩甲对松墨天牛幼虫的捕食状和捕食能力
Fig. 3 Predatory capability of *Tetrigus lewisi* to *Monochamus alternatus* larvae

A：松墨天牛幼虫被捕食后状 Residual body of *M. alternatus* larvae after being preyed；B：莱氏猛叩甲对松墨天牛幼虫的捕食动态 Dynamic of predation of *T. lewisi* to *M. alternatus* larvae；C：莱氏猛叩甲捕食能力与其个体大小的关系 Relationship between the predatory capability of *T. lewisi* and its body size.

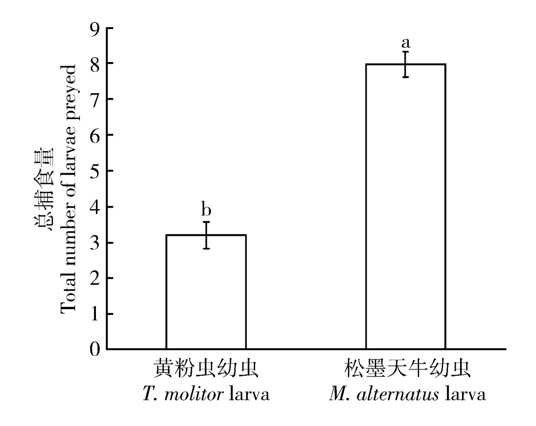


图 4 莱氏猛叩甲对黄粉虫和松墨天牛幼虫捕食量比较
Fig. 4 Comparison of the preyed amounts of *Tenebrio molitor* and *Monochamus alternatus* larvae by *Tetrigus lewisi*

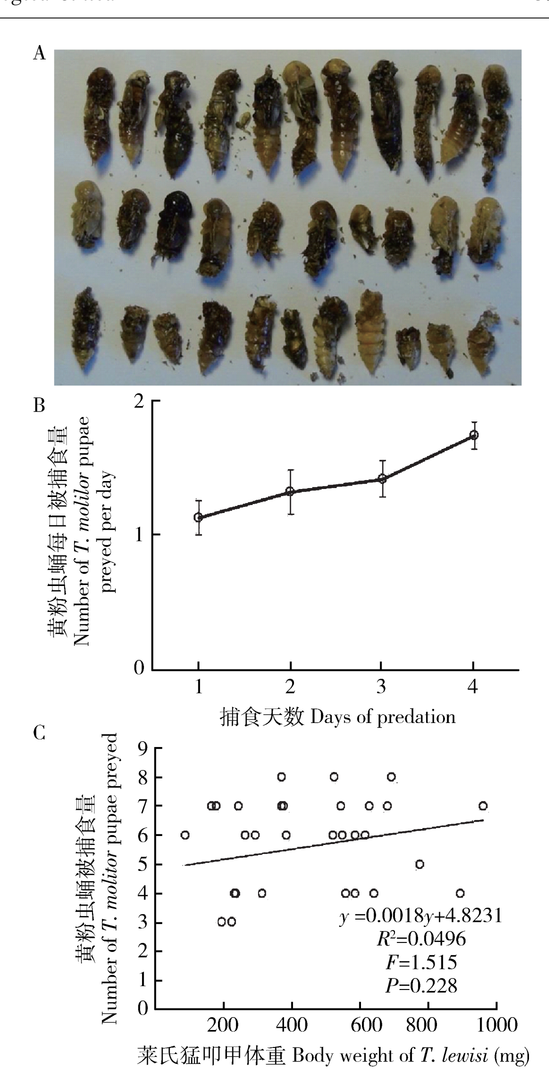


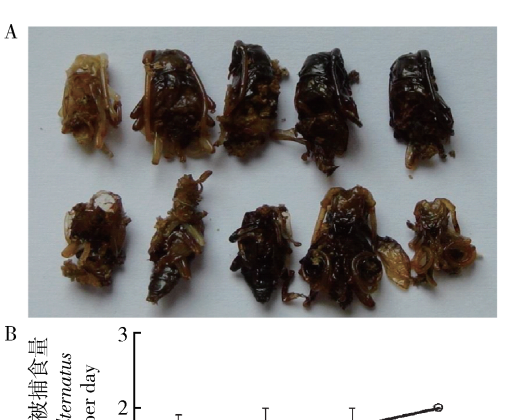
图 5 莱氏猛叩甲对黄粉虫蛹的捕食状和捕食能力
Fig. 5 Predatory capability of *Tetrigus lewisi* to *Tenebrio molitor* pupae

A：黄粉虫蛹被捕食后状 Residual body of *T. molitor* pupa after being preyed；B：莱氏猛叩甲对黄粉虫蛹的捕食动态 Dynamic of predation of *T. lewisi* to *T. molitor* pupa；C：莱氏猛叩甲捕食能力与叩甲个体大小的关系 Relationship between the predatory capability of *T. lewisi* and its body size

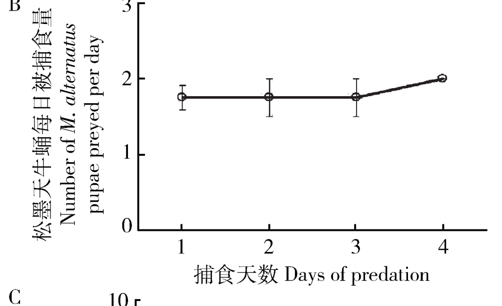
的捕杀曲线表明莱氏猛叩甲对黄粉虫蛹的捕杀量每天约为 1.4 头，日与日之间差异不显著（图 5：B）；进一步分析发现莱氏猛叩甲对黄粉虫蛹的总捕食量与其本身的个体大小也不存在相关关系（$y=0.018x+4.8231$，$F=1.515$，$P=0.228$）（图 5：C）。

2.3.2 莱氏猛叩甲老熟幼虫对松墨天牛蛹的捕食能力：莱氏猛叩甲捕食松墨天牛蛹状见图 6（A），连续 4 d 的捕食曲线（图 6：B）表明莱氏猛叩甲对松墨天牛蛹捕食量约平均每天 2.0 头，日与日之间差异不明显；进一步分析发现莱氏猛叩甲的总捕食量与其本身的个体大小也不存在线性相关关系（$y=-0.0059x+11.022$，$F=4.508$，$P=0.078$）（图 6）。

A



B



C

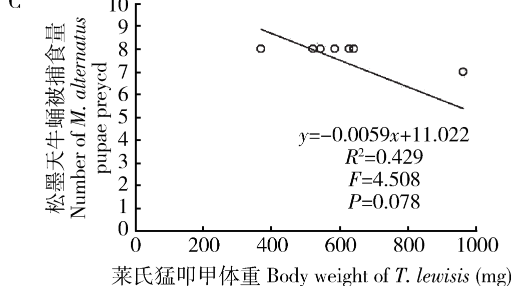


图 6　莱氏猛叩甲对松墨天牛蛹的捕食状和捕食能力

Fig. 6　Predatory capability of *Tetrigus lewisi* to *Monochamus alternatus* pupae

A：松墨天牛蛹被捕食后状 Residual body of *M. alternatus* pupa after being preyed；B：莱氏猛叩甲对松墨天牛蛹的捕食动态 Dynamic of predation of *T. lewisi* to *M. alternatus* pupa；C：莱氏猛叩甲捕食能力与其个体大小的关系 Relationship between the predatory capability of *T. lewisi* and its body size.

2.3.3　莱氏猛叩甲老熟幼虫对黄粉虫蛹和松墨天牛蛹的捕食能力比较：4 d 内，莱氏猛叩甲捕食黄粉虫蛹和松墨天牛蛹总量分别为 5.6 和 7.8 头，分析表明其对松墨天牛蛹的捕食效果显著高于黄粉虫蛹（$F_{1,37}=5.218$，$P=0.028$）（图 7）。

3　讨论

3.1　莱氏猛叩甲和松墨天牛幼虫野外共存调查

我们在越冬前野外采集时，发现了莱氏猛叩甲和松墨天牛幼虫同域存在，并且发现莱氏猛叩甲幼虫在松墨天牛幼虫钻蛀的坑道内，有莱氏猛叩甲的蛀道内，通常已经找不到松墨天牛幼虫，有时看见松墨天牛幼虫被取食后的残体。数据统计表明，莱氏

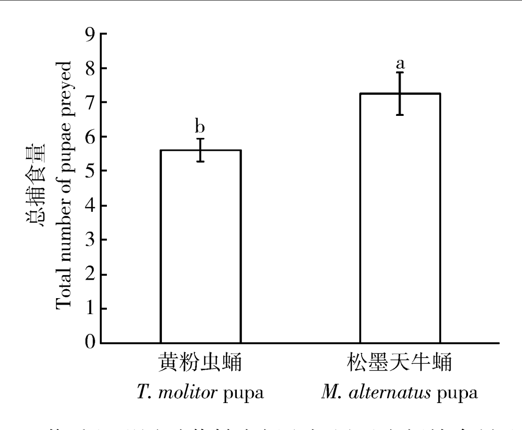


图 7　莱氏猛叩甲对黄粉虫蛹和松墨天牛蛹捕食量比较

Fig. 7　Comparison of the preyed amounts of *Tenebrio molitor* and *Monochamus alternatus* pupae by *Tetrigus lewisi*

猛叩甲野外的种群密度与松墨天牛幼虫相比约为 3%。另据报道，在林间，莱氏猛叩甲在马尾松衰木上的种群密度平均 3～4 头/株，以树干 3 m 以下分布较多（宋冀营等，2007；罗淋淋等，2015）。研究表明莱氏猛叩甲普遍分布在松墨天牛发生区，如果莱氏猛叩甲对松墨天牛具有很好的捕食能力，莱氏猛叩甲将成为未来松墨天牛生物防治的主要生防因子。

3.2　莱氏猛叩甲幼虫室内捕食能力测评

本文进一步对莱氏猛叩甲的捕食能力进行了系统的评估，发现莱氏猛叩甲均能捕食黄粉虫和松墨天牛的幼虫和蛹，而且，相比黄粉虫，莱氏猛叩甲对松墨天牛具有更高的捕食效率。我们的研究表明莱氏猛叩甲对松墨天牛幼虫和蛹的捕食率分别为 1.6 和 2 头/d，与宋冀营等（2007）报道约 4 个月内平均捕食量约 5 头有很大的差异。在宋冀营等（2007）的研究中，当被叩甲攻击致死的天牛幼虫被取食干净或者尸体残余部开始腐烂才补充活天牛幼虫。而在我们的研究中，每天检查时发现天牛被取食死亡后马上更换新天牛个体。莱氏猛叩甲爬行十分活跃，倾向取食活物（我们解剖天牛蛀道时，经常发现有剩余半截的天牛尸体在蛀道内，叩甲却不知所踪）。当猎物被捕食至死后及时的补充新猎物，是正确的评估其捕食能力的一种科学的方法，能准确反映叩甲的捕食能力，与传统意义上的捕食有一定的差异。我们发现莱氏猛叩甲末龄幼虫个体的大小与猎物的捕食量不存在相关关系。通常天敌昆虫个体越大，其取食量也越大（王海河等，2013）。然而，莱氏猛叩甲不是杀死天牛然后将猎物全部取食干净，而是倾向取食活物，通常残留下一部分未取食。因此本研究中的捕食量是其猎杀猎物的能力，而不

是具体的取食量,因此与天敌昆虫的个体大小不存在相关关系。室内饲养发现莱氏猛叩甲在次年 3 月份陆续羽化,其幼虫持续半年之久。按本研究的捕食率推测,一头莱氏猛叩甲幼虫一年能捕食 200 ~ 300 头松墨天牛幼虫。在林间,莱氏猛叩甲对松墨天牛的捕食期将更长,我们在 2015 年 7 月在浙江富阳进行野外调查时,发现莱氏猛叩甲的幼虫。此外,鉴于莱氏猛叩甲对黄粉虫的捕食能力,同时表明该叩甲捕食性可能较广,可能影响野外对松墨天牛幼虫和蛹的实际控制能力。同时,野外条件下,莱氏猛叩甲幼虫的捕食能力受环境的影响比较大,莱氏猛叩甲在野外对松墨天牛幼虫和蛹的实际控制力有待深入系统评估。

更为重要的是,莱氏猛叩甲除了捕食松墨天牛幼虫外,还能捕食松墨天牛蛹,本文首次发现莱氏猛叩甲对松墨天牛蛹有控制作用。越冬后,气温回升,松墨天牛陆续化蛹,同时莱氏猛叩甲变得活跃,室内捕食实验表明 1 头莱氏猛叩甲一天约能捕食 2 头松墨天牛蛹,能高效地捕食天牛蛹,降低天牛种群密度,阻断松材线虫的扩散蔓延。在现行的松墨天牛生防因子中,很少有一种天敌能同时对其幼虫和蛹进行控制。如管氏肿腿蜂只能很好地寄生松墨天牛的 2 和 3 龄幼虫,对 4 和 5 龄的幼虫寄生效率降低(Liu *et al.*, 2011)。花绒寄甲 *Dastarcus helophoroides*,松墨天牛的一种重要寄生性天敌,主要以幼虫寄生松墨天牛的幼虫(黄焕华等, 2003)。由此可见,莱氏猛叩甲将是控制松墨天牛的潜在高效生防因子。

此外,研究还表明,莱氏猛叩甲喂食黄粉虫幼虫能很好的化蛹和羽化,是室内大规模饲养繁殖莱氏猛叩甲很好的材料。莱氏猛叩甲幼虫生活周期长,加之其对松墨天牛幼虫和蛹都有很强的捕食能力,有可能成为控制松材线虫危害的有效方法。未来的工作方向中,攻克莱氏猛叩甲的人工饲养繁殖关键技术和掌握莱氏猛叩甲的生物学、生态学特性将至关重要。

参考文献(References)

Chen YS, Zhou MS, 2012. Research advances in the natural insect enemies and biocontrol of *Monochamus alternatus* Hope. *Guangdong Agr. Sci.*, (7): 100 - 104. [陈元生, 周满生, 2012. 松褐天牛的天敌昆虫及其生防利用研究. 广东农业科学, (7): 100 - 104]

Deng GS, 2015. Epidemiological characteristics and control methods of *Bursaphelenchus xylophius*. *Mod. Agr. Sci. Tech.*, (11): 164 - 169. [邓国松, 2015. 松材线虫病的发病特征及防治方法. 现代农业科技, (11): 164 - 169]

Guo YQ, Xin YC, Tao X, Yu H, Liu ZD, 2015. Body size difference of male and female adults as well as relationship between the sizes of pupae and adults and the body weight of overwintering larvae in the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomol. Sin.*, 58(9): 989 - 996. [郭雅琦, 辛玉翠, 陶希, 鱼欢, 刘柱东, 2015. 松墨天牛成虫雌雄体型差异及蛹和成虫大小与越冬幼虫体重的关系. 昆虫学报, 58(9): 989 - 996]

Hu X, Jiang XJ, 2007. Research progress on biological prevention technique of *Bursaphelenchus xylophilus*. *Guangxi For. Sci.*, 36(4): 199 - 201. [胡霞, 蒋学建, 2007. 松材线虫病生物防治研究进展. 广西林业科学, 36(4): 199 - 201]

Huang HH, Xu ZF, Yang ZQ, Wang XD, Fan JX, Qian MH, Te LK, Chen JJ, 2003. *Dastarcus helophoroide*: an important natural enemy of the pine sawyer *Monochamus alternatus*. *Guangdong For. Tech.*, 19(4): 76 - 77. [黄焕华, 许再福, 杨忠岐, 王小东, 范军祥, 钱明惠, 特拉康, 陈驹坚, 2003. 松褐天牛的重要天敌——花绒坚甲. 广东林业科技, 19(4): 76 - 77]

Jiang SH, Wang SY, 1999. Economic Click Beetle Fauna of China (Coleoptera: Elateridae). China Agriculture Press, Beijing. [姜世宏, 王书永, 1999. 中国经济叩甲图志. 北京: 中国农业出版社]

Linit MJ, Kondo E, Smith MT, 1983. Insects associated with the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), in Missouri. *Environ. Entomol.*, 12: 467 - 470.

Liu ZD, Xu BB, Li L, Sun JH, 2011. Host-size mediated trade-off in a parasitoid *Sclerodermus harmandi*. *PLoS ONE*, 6(7): e23260.

Luo LL, Cai ZL, Lin T, 2015. Research progress on natural enemies against *Monochamus alternates* Hope and its bio-control. *China Plant Prot.*, 35(2): 21 - 25. [罗淋淋, 蔡紫玲, 林同, 2015. 松墨天牛的天敌生防利用研究进展. 中国植保导刊, 35(2): 21 - 25]

Mamiya Y, Enda N, 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica*, 18: 159 - 162.

Pi ZQ, Wang FW, Gao LJ, Chen YH, Dai WZ, Bao BQ, 2001. Experiment on control of *Saperda populnea* with *Scleroderma guani*. *For. Pest Dis.*, (6): 20 - 22. [皮忠庆, 王福维, 高立军, 陈域横, 戴万琢, 包百清, 2001. 管氏肿腿蜂防治青杨天牛试验. 中国森林病虫, (6): 20 - 22]

Song JY, Luo YQ, Yan XS, Jiang P, Chen YL, 2007. The niche of *Tetrigus lewisi*, a predaceous natural enemy of *Monochamus alternatus*. *Chin. Bull. Entomol.*, 44(5): 707 - 710. [宋冀营, 骆有庆, 严晓素, 蒋平, 陈翼龙, 2007. 松褐天牛的捕食性天敌莱氏猛叩甲的生态位. 昆虫知识, 44(5): 707 - 710]

Togashi K, 1989. Factors affecting the number of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) carried by newly emerged adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 24(4): 379 - 386.

Togashi K, 2008. Vector-nematode relationships and epidemiology in pine wilt disease. In: Zhao BG, Futai K, Sutherland JR, Takeuchi

Y eds. Pine Wilt Disease. Springer, Japan. 162 – 183.

Wang HH, Dong GY, Xu BB, Liu ZD. 2013. Biological study of the decapitator checkered beetle *Clerus* sp., a natural enemy of the invasive bark beetle *Dendroctonus valens*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 50(4): 991 – 997. [王海河，董刚毅，徐冰冰，刘柱东，2013. 一种红脂大小蠹天敌切头郭公虫 *Clerus* sp. 生物学初探. 应用昆虫学报，50(4): 991 – 997]

Yang ZQ, 2004. Advance in bio-control researches of the important forest insect pests with natural enemies in China. *Chin. J. Biol. Control*, 20: 221 – 227. [杨忠岐，2007. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展. 中国生物防治，20: 221 – 227]

Zhang YN, Yang ZQ, 2006. Studies on the natural enemies and biocontrol of *Monochamus alternatus*. *Plant Prot.*, 36(2): 9 – 14. [张翌楠，杨忠岐，2006. 松褐天牛的天敌及其对寄主的控制能力研究. 植物保护，36(2): 9 – 14]

Zhang YP, 2006. The test results analysis of stocking *Scleroderma guani* preventing pine sawyer. *Anhui For.*, (3): 44. [张贻平，2006. 放养管氏肿腿蜂防治松揭天牛试验成效分析. 安徽林业，(3): 44]

Zhao JN, Ying J, 1989. The relationship between *Monochamus alternatus* feeding and death of pine trees. *For. Sci.*, 25(5): 432 – 438. [赵锦年，应杰，1989. 松墨天牛取食为害与松树枯死关系的研究. 林业科学，25(5): 432 – 438]

（责任编辑：赵利辉）